

Efek Durasi Pencahayaannya pada Sistem HRAR untuk Menurunkan Kandungan Minyak Solar dalam Air Limbah

Dian Puspitasari, Agus Slamet, dan Joni Hermana

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: hermana@enviro.its.ac.id

Abstrak— Kandungan minyak di dalam air limbah industri perminyakan umumnya bersifat toksik terhadap mikroorganisme dan mengganggu proses pengolahan secara biologis. Sistem HRAR diperkirakan dapat mengatasi hambatan tersebut melalui proses fotosintesis untuk menghasilkan oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme dalam mendegradasi senyawa hidrokarbon. Penelitian ini bertujuan mengkaji pengaruh perpanjangan waktu pencahayaannya pada kemampuan HRAR dalam menurunkan kandungan minyak di dalam limbah. Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah variasi durasi pencahayaannya dan variasi penambahan volume minyak solar yang ditambahkan ke dalam reaktor. Variasi durasi pencahayaannya yang digunakan adalah pencahayaannya selama 12 jam dan pencahayaannya selama 24 jam. Sedangkan penambahan volume minyak solar ke dalam masing-masing reaktor adalah sebesar 346 ppm, 519 ppm dan 692 ppm. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah durasi pencahayaannya selama 12 jam memiliki efek yang lebih baik terhadap penurunan konsentrasi minyak dibandingkan pencahayaannya selama 24 jam. Hal ini dapat terlihat dari baiknya pertumbuhan alga dan bakteri di dalam reaktor serta tingginya penurunan konsentrasi minyak solar di dalamnya. Penurunan konsentrasi minyak solar terbaik terdapat pada reaktor dengan penambahan minyak solar sebesar 346 ppm. Pada reaktor dengan durasi pencahayaannya selama 12 jam terjadi penurunan konsentrasi minyak sebesar 78,4%. Sedangkan penurunan kandungan minyak solar pada reaktor dengan durasi pencahayaannya selama 24 jam adalah sebesar 73,9%.

Kata Kunci— alga, durasi pencahayaannya, HRAR, minyak solar

I. PENDAHULUAN

KEBERADAAN industri minyak bumi di Indonesia memiliki nilai strategis sebagai sumber energi dan devisa negara. Namun perkembangan industri minyak dan gas tentunya juga memiliki dampak negatif bagi lingkungan sekitar. Salah satu dampak negatifnya adalah dengan meningkatnya kadar polutan di dalam air. Untuk itu, diperlukan adanya pengolahan lanjutan sebelum limbah cair tersebut dibuang ke sungai.

Salah satu pengolahan tambahan yang dapat dilakukan dalam menanggulangi permasalahan di atas adalah dengan melakukan penambahan kolam alga sebelum limbah cair tersebut dibuang langsung ke badan air. Penggunaan alga ini dipilih karena kadar hidrokarbon yang terdapat di dalam limbah petroleum dapat didegradasikan oleh mikroba seperti bakteri dan mikroalga [1].

Salah satu alternatif penggunaan alga dalam mengolah

air limbah adalah dengan menggunakan sistem HRAR. Sistem HRAR adalah pengolahan limbah dengan menggunakan alga untuk mereduksi zat organik dan polutan yang terdapat di dalam air limbah. Pada penelitian ini digunakan sistem media alga campuran yang berisi alga dan bakteri. Bakteri digunakan untuk mendegradasi kandungan minyak yang ada di dalam limbah. Sedangkan alga berfungsi untuk menghasilkan O_2 yang dibutuhkan bakteri untuk mendegradasi hidrokarbon [2].

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi pertumbuhan alga, diantaranya adalah keberadaan cahaya. Cahaya dibutuhkan alga sebagai sumber energi bagi proses fotosintesisnya [3]. Durasi pencahayaannya yang diberikan ke dalam sistem tentunya memberikan pengaruh kepada alga dalam melakukan proses fotosintesis. Pada limbah perkotaan, sistem HRAR dengan durasi pencahayaannya selama 12 jam memiliki efek yang lebih baik dalam mendegradasi kandungan organik dan nutrien di dalam limbah dibandingkan dengan durasi pencahayaannya selama 24 jam [4]-[5]. Untuk itu, dalam penelitian ini akan dikaji pengaruh penambahan durasi pencahayaannya pada sistem HRAR untuk menurunkan kandungan minyak di dalam air limbah.

II. METODE

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain reaktor yang terbuat dari *sealware* berkapasitas 18 L, pompa *submersible*, lampu *fluorescent*, rangka besi, minyak solar, pupuk urea, pupuk NPK, dan gula pasir.

Penelitian ini dibagi menjadi tiga tahap, yaitu proses *seeding*, penelitian pendahuluan dan penelitian utama. Langkah pertama yang dilakukan pada penelitian ini adalah proses *seeding*, yaitu proses pembiakan alga. Alga yang digunakan berasal dari saluran drainase air limbah domestik Kota Surabaya yang telah ada di Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Alga tersebut dibiakkan pada masing-masing reaktor berkapasitas 18 L. Selanjutnya ditambahkan urea dan gula pasir sebagai sumber nutrien dan sumber karbon alga. Penambahan ini dilakukan untuk menyesuaikan rasio C : N : P hidup alga yaitu sebesar 100 : 16 : 1 [6].

Biakan alga dianggap telah siap digunakan jika warnanya sudah mulai berubah menjadi hijau tua. Alga yang sudah berwarna hijau tua akan diuji kadar C, N, P dan kadar klorofil a nya. Kadar C di dalam air diukur dalam bentuk COD, kadar N diukur dalam bentuk total N dan kadar P diukur

dalam bentuk orthofosfat.

Langkah selanjutnya adalah melakukan penelitian pendahuluan. Penelitian ini dimulai dengan menambahkan minyak solar dengan variasi yang berbeda-beda ke dalam 5 reaktor. Variasi minyak solar yang ditambahkan adalah sebesar 173 ppm, 519 ppm, 865 ppm, 1.211 ppm, dan satu reaktor kontrol tanpa penambahan minyak solar. Hasil minyak solar optimum yang dapat diterima sistem HRAR pada penelitian ini adalah reaktor dengan penambahan minyak solar sebesar 519 ppm.

Pada penelitian utama, alga yang digunakan adalah alga biakan yang diambil dari reaktor dengan penambahan minyak solar sebesar 519 ppm pada penelitian pendahuluan ditambahkan dengan alga biakan baru. Hal ini dilakukan agar pada reaktor nantinya terdapat alga yang sudah tahan terhadap konsentrasi minyak yang tinggi.

Variabel penelitian yang digunakan pada penelitian utama adalah variasi penambahan minyak solar dan variasi durasi pencahayaan. Dari hasil penelitian pendahuluan diketahui range minyak solar optimum yang dapat diterima alga adalah penambahan minyak solar sebesar 519 ppm. Dua penambahan minyak solar lainnya didapatkan dari nilai tengah antara nilai minyak solar optimum dengan nilai minyak solar di atas dan di bawahnya pada penelitian pendahuluan. Sehingga didapatkan konsentrasi solar sebesar 346 ppm, 519 ppm dan 692 ppm. Variasi durasi pencahayaan yang digunakan adalah durasi pencahayaan selama 12 jam dan durasi pencahayaan selama 24 jam yang dikombinasikan dengan pencahayaan lampu *fluorescent*. Sehingga didapatkan 8 reaktor yang dipakai pada penelitian ini dengan 2 reaktor yang digunakan sebagai reaktor kontrol. Reaktor kontrol adalah reaktor tanpa penambahan minyak solar dengan penambahan variasi durasi pencahayaan.

Pada penelitian utama ini dilakukan dua kali *running*. *Running* pertama dilakukan untuk mengetahui efek penambahan durasi pencahayaan dalam menurunkan konsentrasi minyak di dalam reaktor. Sedangkan tujuan *running* kedua adalah untuk mengetahui kemampuan alga dalam memulihkan diri setelah diberikan minyak solar pada *running* pertama. Pada *running* kedua reaktor ditambahkan *booster* biakan alga baru, urea dan glukosa sebagai sumber nutrisi dan karbon di dalam reaktor.

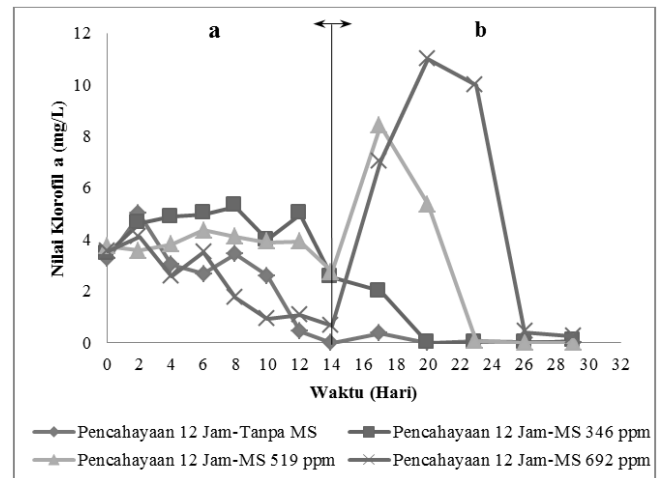
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Efek Pemberian Minyak Solar Terhadap Konsentrasi Klorofil A

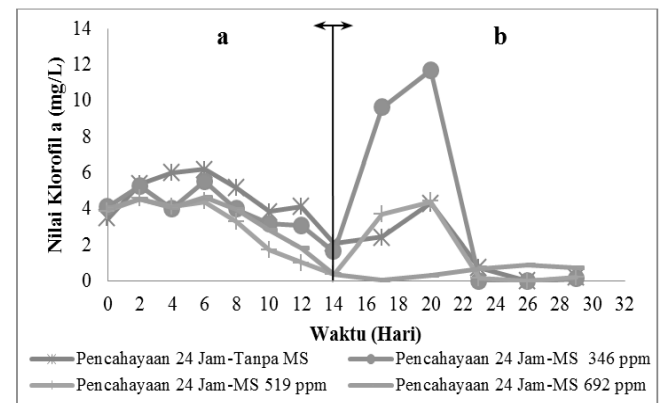
Klorofil a adalah suatu pigmen aktif dalam sel tumbuhan yang memiliki peranan penting pada berlangsungnya fotosintesis di perairan [7]. Klorofil a dapat mewakili keberadaan alga di dalam air.

Pada *running* pertama, nilai klorofil a pada pencahayaan 12 jam reaktor dengan penambahan minyak solar 346 ppm dan 519 ppm mengalami peningkatan hingga hari ke-8 sebesar 1,82 mg/L dan 0,37 mg/L (Gambar 1). Sedangkan pada pencahayaan 24 jam tidak mengalami peningkatan konsentrasi klorofil a pada reaktor dengan penambahan minyak solar (Gambar 2). Pada *running* kedua terlihat peningkatan nilai klorofil a baik pada pencahayaan selama 12 jam maupun selama 24 jam.

Secara umum penurunan nilai klorofil a pada *running* pertama terjadi karena semakin lama penelitian ini dilakukan maka akan semakin banyak minyak yang menempel pada pinggiran reaktor. Menempelnya alga pada pinggiran reaktor



Gambar. 1. Grafik klorofil a pencahayaan 12 jam dengan variasi penambahan minyak solar (MS): (a) Kondisi setelah penambahan minyak solar, (b) Kondisi setelah penambahan alga baru.



Gambar. 2. Grafik klorofil a pencahayaan 24 jam dengan variasi penambahan minyak solar (MS): (a) Kondisi setelah penambahan minyak solar, (b) Kondisi setelah penambahan alga baru.

dapat terjadi karena penambahan minyak solar dengan kadar yang terlalu tinggi ke dalam reaktor sehingga minyak dan air mengalami fase kohesi di dalam air dan menempel pada alga [8].

Pada *running* kedua, dihasilkan nilai klorofil a yang lebih tinggi dibandingkan *running* pertama karena beberapa faktor. Faktor pertama adalah faktor cuaca yang cerah pada *running* kedua sehingga kebutuhan intensitas cahaya alga terpenuhi. Hal ini mengakibatkan alga dapat melakukan proses fotosintesis secara baik. Faktor kedua adalah penambahan urea ke dalam reaktor pada *running* kedua sehingga kadar nutrisi alga semakin berlimpah dan memenuhi kebutuhan hidup alga. Sedangkan faktor ketiga adalah konsentrasi minyak pada alga di *running* kedua sudah menurun jika dibandingkan dengan hari ke-0 *running* pertama sehingga alga menjadi lebih mudah beradaptasi di dalam reaktor.

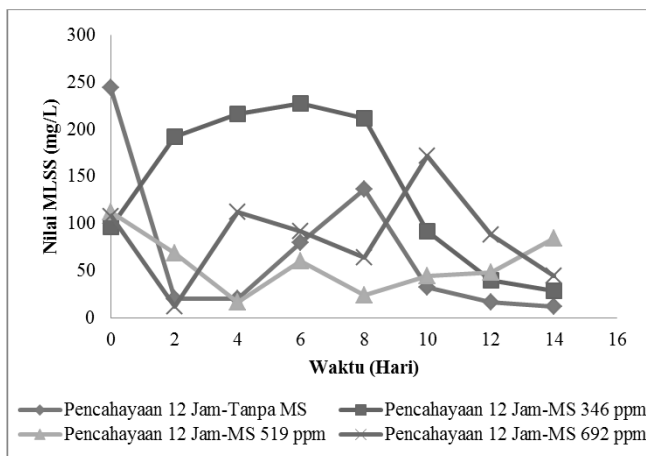
B. Efek Pemberian Minyak Solar Terhadap Konsentrasi MLSS

Analisis *mixed liquor suspended solid* (MLSS) dilakukan dengan tujuan mengetahui nilai bahan organik di dalam sampel. Bahan organik yang terukur dalam analisis MLSS

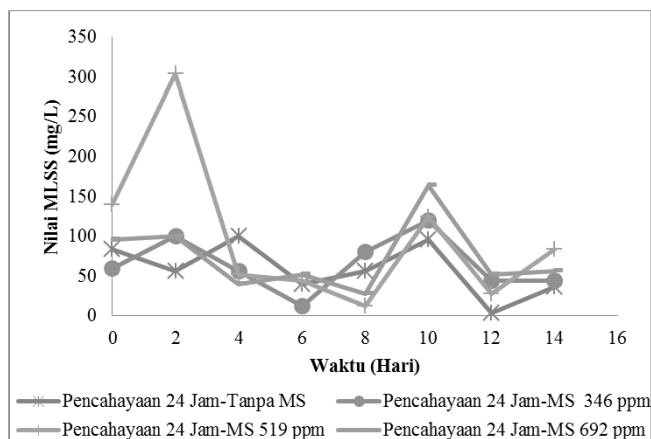
adalah padatan alga, bakteri, serta komponen-komponen lain yang tidak tervolatil [9]. Nilai MLSS dapat mewakili konsentrasi MLVSS di dalam reaktor. Hal ini dapat terjadi karena nilai MLVSS adalah 70-80% nilai MLSS [10].

Pada *running* pertama, nilai MLSS pada pencahayaan 12 jam reaktor dengan penambahan minyak solar 346 ppm dan 519 ppm mengalami peningkatan hingga hari ke-8 sebesar 1,82 mg/L dan 0,37 mg/L (Gambar 3). Sedangkan pada pencahayaan 24 jam tidak mengalami peningkatan konsentrasi klorofil a pada reaktor dengan penambahan minyak solar (Gambar 4). Pada *running* kedua terlihat peningkatan nilai klorofil a baik pada pencahayaan selama 12 jam maupun selama 24 jam.

Dari perbandingan nilai konsentrasi MLSS dengan durasi pencahayaan 12 jam dan 24 jam dapat diketahui bahwa bakteri lebih optimum hidup dalam kondisi durasi pencahayaan selama 12 jam. Peningkatan nilai MLSS di dalam reaktor menunjukkan bahwa pada kondisi durasi



Gambar 3. Grafik MLSS pencahayaan 12 jam dengan variasi penambahan minyak solar (MS): (a) Kondisi setelah penambahan minyak solar, (b) Kondisi setelah penambahan alga baru



Gambar 4. Grafik MLSS pencahayaan 24 jam dengan variasi penambahan minyak solar (MS): (a) Kondisi setelah penambahan minyak solar, (b) Kondisi setelah penambahan alga baru

pencahayaan selama 12 jam terjadi peningkatan konsentrasi bakteri dan alga di dalam reaktor. Hal ini juga didukung dengan meningkatnya nilai klorofil a *running* pertama pada penelitian ini. Sedangkan penurunan nilai MLSS pada kondisi durasi pencahayaan 24 jam dapat menunjukkan gangguan yang terjadi pada konsentrasi biomass sehingga

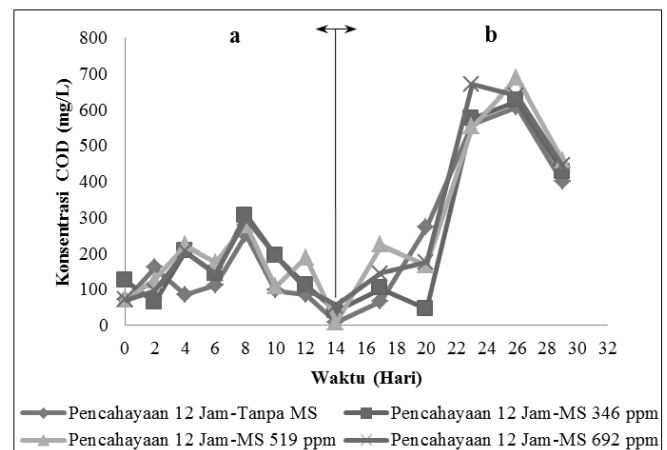
terjadi kematian bakteri dan pecahnya sel bakteri menjadi bahan organik dan nutrisi di dalam air [11].

C. Kinerja HRAR Pada Penyisihan Konsentrasi COD

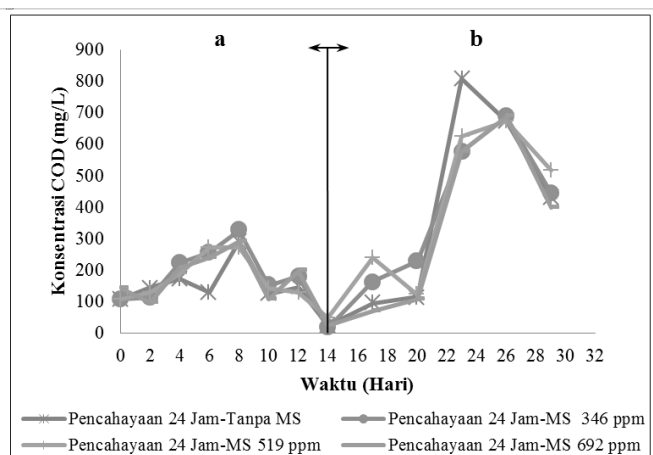
Chemical oxygen demand (COD) adalah jumlah oksigen yang diperlukan dalam proses peruraian bahan organik secara kimia. Analisis COD dapat dilakukan untuk mengetahui banyaknya jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik dengan menggunakan larutan dikromat [12].

Pada *running* pertama dengan durasi pencahayaan selama 12 jam (Gambar 5), maupun dengan durasi pencahayaan selama 24 jam (Gambar 6) dapat dilihat bahwa pada semua reaktor terjadi peningkatan konsentrasi COD hingga hari ke-8. Sedangkan pada *running* kedua dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan nilai COD secara signifikan pada hari ke-23.

Peningkatan nilai COD pada 8 hari pertama terjadi karena alga dan bakteri sedang mengalami masa adaptasi terhadap pemberian konsentrasi minyak solar dalam jumlah besar. Proses adaptasi ini ditandai dengan naiknya nilai COD akibat adanya produksi *dissolved organic carbon* (DOC). Produksi DOC di dalam air terjadi karena terjadi pelepasan senyawa intrasel [12]. Senyawa intrasel ini mudah



Gambar 5. Grafik COD pencahayaan 12 jam dengan variasi penambahan minyak solar (MS): (a) Kondisi setelah penambahan minyak solar, (b) Kondisi setelah penambahan alga baru



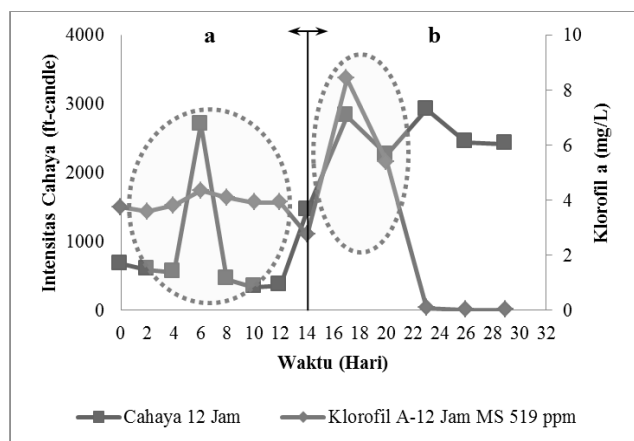
Gambar 6. Grafik COD pencahayaan 24 jam dengan variasi penambahan minyak solar (MS): (a) Kondisi setelah penambahan minyak solar, (b) Kondisi setelah penambahan alga baru

larut di dalam air sehingga menaikkan konsentrasi COD di dalam air. Proses pelepasan senyawa intrasel ini disebut dengan lisis baik itu dialami oleh alga maupun oleh bakteri. Kemudian pada hari ke 10 hingga ke-14 dapat terlihat bahwa konsentrasi COD mulai mengalami penurunan. Hal ini membuktikan bahwa pada hari ke-10 bakteri sudah dapat beradaptasi dengan kondisi limbah di dalam reaktor, sehingga sudah dapat melakukan proses pendegradasian kadar organik di dalam reaktor.

D. Korelasi Intesitas Cahaya dengan Nilai Klorofil A

Intensitas cahaya merupakan salah satu faktor penting yang dibutuhkan alga dalam pertumbuhannya. Mikroalga melakukan proses fotosintesis di mana dalam proses tersebut terjadi asimilasi karbon anorganik untuk dikonversi menjadi materi organik [4].

Korelasi antara klorofil a dan intensitas cahaya dilakukan untuk melihat seberapa besar pengaruh intensitas cahaya terhadap nilai klorofil a di dalam air. Pada *running* pertama nilai klorofil a cukup stagnan walaupun menunjukkan kenaikan konsentrasi (Gambar 7). Hal ini terjadi dikarenakan intensitas cahaya pada *running* pertama rendah cenderung stagnan. Sedangkan pada *running* kedua, nilai klorofil a terlihat cukup berfluktuatif dikarenakan nilai



Gambar. 7. Grafik rata-rata harian intensitas cahaya. (a) Kondisi setelah penambahan minyak solar, (b) Kondisi setelah penambahan alga baru

intensitas cahaya yang cenderung tinggi.

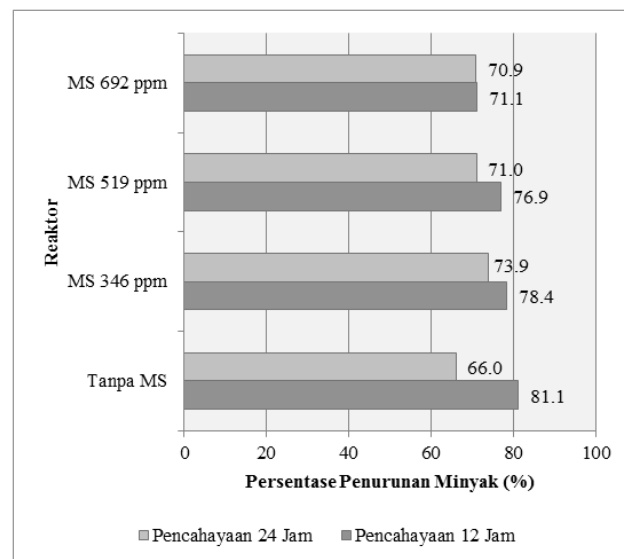
Sedangkan pada *running* kedua peningkatan nilai intensitas cahaya tidak mempengaruhi pertumbuhan alga di dalam reaktor. Hal ini dapat terjadi dikarenakan intensitas cahaya bukan merupakan satu-satunya faktor yang mempengaruhi tumbuh kembang alga. Faktor lain yang mendukung tumbuh kembangnya alga di dalam reaktor adalah kandungan nutrisi, beban pencemar, pH, suhu dan faktor lain yang terdapat di dalamnya.

Dari Gambar 7 di atas dapat disimpulkan bahwa pada *running* pertama intensitas cahaya memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap tumbuh kembang alga. Namun semakin tinggi beban pencemar di dalam air mengakibatkan semakin rendah nilai klorofil a yang diproduksi oleh alga walaupun diiringi dengan intensitas cahaya yang sama. Sehingga dapat disimpulkan bahwa intensitas cahaya memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan alga yang terdapat di dalam reaktor tergantung dari seberapa besar konsentrasi beban pencemar dan konsentrasi sumber nutrisi yang terdapat di dalam air.

E. Kinerja HRAR Pada Penyisihan Konsentrasi Minyak

Pada penelitian ini dilakukan analisis *oil and grease* dalam mengukur konsentrasi minyak yang terdegradasi oleh sistem HRAR di dalam reaktor. Penurunan konsentrasi minyak pada masing-masing reaktor memiliki nilai yang cukup beragam (Gambar 8). Pada reaktor tanpa penambahan minyak, diduga nilai konsentrasi minyak yang didapatkan berasal dari konsentrasi alga. Hal ini dapat terjadi dikarenakan di dalam alga terdapat kandungan minyak nabati. Tingginya kandungan minyak nabati mengidentifikasi besarnya kandungan asam lemak di dalam alga [13].

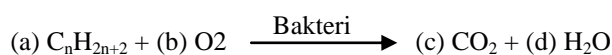
Nilai kandungan minyak yang terbaca di dalam reaktor tanpa penambahan minyak pun terlihat lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai konsentrasi minyak pada reaktor dengan penambahan minyak solar (Gambar 8). Rendahnya kandungan minyak ini terjadi karena pada reaktor tanpa penambahan minyak, nilai kandungan minyak hanya merepresentasikan nilai minyak yang didapatkan dari alga sedangkan pada reaktor lain, nilai kandungan minyak dipengaruhi oleh konsentrasi solar yang dimasukkan ke dalam reaktor.



Gambar. 8. Persentase efisiensi penurunan minyak solar (MS)

Sedangkan pada reaktor dengan penambahan konsentrasi minyak terlihat bahwa durasi pencapaian selama 12 jam lebih efisien dalam menurunkan kadar minyak dibandingkan dengan durasi pencapaian selama 24 jam. Dapat dilihat bahwa penurunan konsentrasi minyak paling efisien terdapat pada reaktor dengan penambahan minyak solar sebesar 346 ppm dengan durasi pencapaian selama 12 jam.

Penurunan konsentrasi minyak di dalam air ini dapat terjadi karena beberapa hal. Salah satu faktor utama adalah karena menempelnya minyak pada alga. Sistem mixing selama 24 jam yang digunakan pada reaktor ini tentunya memiliki efek yang besar terhadap tersebarnya alga yang sudah tertempel minyak ke pinggiran reaktor. Sehingga konsentrasi minyak yang tercampur di dalam air pun semakin menurun. Selain itu peran bakteri juga dapat mempengaruhi penurunan konsentrasi minyak di dalam air.



Pada persamaan reaksi di atas dapat dilihat bahwa bakteri menggunakan atom C yang terdapat pada minyak untuk melakukan proses metabolisme, sehingga penurunan konsentrasi minyak terjadi karena degradasi oleh bakteri.

IV. KESIMPULAN

Pencahayaan secara alami memiliki efek lebih baik terhadap penurunan konsentrasi minyak solar yang diikuti dengan baiknya pertumbuhan alga dan bakteri di dalam reaktor dibandingkan pencahayaan selama 24 jam dengan penambahan lampu *fluorescent*. Sistem HRAR dapat bekerja secara baik pada reaktor dengan konsentrasi penambahan minyak solar sebesar 346 ppm, dengan persentase penyisihan konsentrasi minyak sebesar 78,4%. Penyisihan konsentrasi minyak pada penelitian ini lebih didominasi oleh proses secara fisik yaitu proses adsorpsi, bukan karena proses biodegradasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Riser and Roberts. 1992. Bioremediation of petroleum contaminated sites. Boca Raton: CRC Press, Inc.
- [2] Widjaja, T., dan Sunarko, L. 2007. Pengaruh perbandingan nutrisi terhadap pengolahan minyak secara biologis dengan bakteri mixed culture. Jurnal Teknik Kimia Indonesia. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [3] Wells R. D. S., Hall J. A., Clayton J. S., Champion P. D., Payne G.W., and Hofstra D.E. 1999. The rise and fall of water net (hydrodictyon reticulatum). New Zealand. J. Aquat. Plant Manage. 37: 49-55.
- [4] Kawaroe, M., Prartono, T., Sunuddin, A., Sari, D. W., dan Augustine, D. 2009. Laju pertumbuhan spesifik *Chlorella* sp. dan *Dunaliella* sp. berdasarkan perbedaan nutrisi dan fotoperiode. Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan dan Perikanan Indonesia Jilid 16, 1 : 73-77.
- [5] Alwi, J. 2011. Pengaruh durasi pencahayaan dan kedalaman pada high rate algae reactor (HRAR) terhadap penurunan konsentrasi kadar organik limbah perkotaan. Laporan Tugas Akhir. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [6] Redfield, A. C., Ketchum, B. M., and Richards, F. A. 1963. The influence of organism on the composition of seawater. New York: Wiley-Interscience.
- [7] Sediadi, A., dan Edward. 2000. Kandungan klorofil A fitoplankton di perairan pulau-pulau lease Maluku tengah. Salatiga: Puslitbang Oseanologi LIPI.
- [8] Wati, S. M. 2012. Model perhitungan viskositas terhadap limbah minyak bumi mengandung surfaktan. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- [9] Afifah, A. S. 2013. Efek aerasi dan konsentrasi substrat pada laju pertumbuhan alga menggunakan sistem bioreaktor proses batch. Laporan Tugas Akhir. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [10] Reynolds, C. 2006. Ecology of phytoplankton. England: Cambridge University Press.
- [11] Fidiantyo, E. 2013. Pengaruh pencahayaan dan konsentrasi nutrisi terhadap kemampuan alga sebagai penyerap karbon dengan injeksi gas karbon dioksida. Laporan Tugas Akhir. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [12] Isnadia, D. R. M. 2013. Pengaruh konsentrasi bahan organik, salinitas, dan pH terhadap laju pertumbuhan alga. Laporan Thesis. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [13] Rachmaniah, O., Setyarini, R. D., dan Maulida, L. 2010. Pemilihan metode ekstraksi minyak alga dari *Chlorella* sp. dan prediksinya sebagai biodiesel. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.